



TITLE:

STUDIES ON BILATERAL CONTROL OF TELEOPERATOR UNDER TIME DELAY(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Imaida, Takashi

CITATION:

Imaida, Takashi. STUDIES ON BILATERAL CONTROL OF TELEOPERATOR UNDER TIME DELAY. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19237>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-07-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	今井田 卓
論文題目	STUDIES ON BILATERAL CONTROL OF TELEOPERATOR UNDER TIME DELAY (時間遅れのあるバイラテラル遠隔制御に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、時間遅れの存在下でも安定な PD (比例微分) 制御バイラテラル制御則を設計し、技術試験衛星 7 型による地球周回軌道上でのバイラテラル制御実験によりその有効性を示し、また、偏差型ダンパおよび高域フィルタの追加による PD 制御バイラテラル制御則の性能向上を図ったものである。全体で 6 章から成っている。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究の背景、関連研究、研究目的と本論文の構成について述べている。</p> <p>第 2 章では、時間遅れのもとでも安定性が保証される PD 制御バイラテラル制御法の設計について述べている。マスタ側スレーブ側それぞれにおいてローカルな PD 制御を行うマスタ・スレーブ型の遠隔制御系を設計した。この遠隔制御系と、マスタ側とスレーブ側の間の通信時間遅れをモデル化し、系全体をインピーダンス行列として表現した。このモデルに対し、2 端子対網の対環境ロバスト安定条件を適用することにより、PD 制御バイラテラル制御則の安定条件を簡単な式として求めている。</p> <p>第 3 章では、技術試験衛星 7 型に搭載された宇宙ロボットアームを用い、第 2 章で論じた PD 制御バイラテラル制御則を適用して行った地球周回軌道上のバイラテラル遠隔制御実験について述べている。実験では同衛星に装備されているタスクボード上で作業が行われた。地上からの遠隔操作により、壁押し作業、壁ならい作業、ペグインホール作業、および、スライドハンドル作業が行われた。すべての作業において、オペレータは遠隔側の力を感じながら安定に作業を行うことができ、オペレータはカメラ映像を見ずにタスクを完了させる事が可能であった。また、オペレータに力をフィードバックしないユニラテラル制御でも同様の実験を行い、結果を比較したところ、バイラテラル制御を用いた場合の方が良好な結果が得られた。これらのことから、地球周回軌道上ロボットの地上からの遠隔操作において、PD 制御バイラテラル遠隔制御が有効であることが実証された。</p> <p>第 4 章では、PD 制御バイラテラル遠隔制御法の性能向上について論じている。時間遅れのある PD 制御バイラテラル遠隔制御法においては、安定性を確保するためのダンピングゲインが時間遅れの増大とともに大きくなり、これによる性能劣化も大きくなり操作性として十分なものとは言い難い。これを改善するため、マスタ側およびスレーブ側の PD 制御則において、接地型のダンピングゲインに加え、マスタアームとスレーブアームの速度偏差に比例した力を出す偏差型ダンピングゲインを加えた制御則を提案した。次に、提案する制御則を含んだ制御系をモデル化し、安定条件を求め、性能評価を行った。その結果、本手法により、安定性を損なうことなく制御系の保守性が改善され、性能が向上することが示された。バイラテラル制御性能の評価においては、通例インピーダンス比較による機構透明性解析が多く用いられるが、これによると時間遅れのもとでの性能を正しく評価できない場合が存在することが分かった。このため、そのような場合でもより正確に評価できるハイブリッド行列による評価方法を用い</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	今井田 卓
<p>た。制御法の有効性について、シミュレーションおよび2自由度のペグインホール実験により検証した。すべてのシミュレーションおよび実験において、作業は安定に行うことができ、また、提案する制御法による性能の改善が認められた。</p> <p>第5章では、マスタ側およびスレーブ側のPD制御則において、高域フィルタを付加することによる、PD制御バイラテラル遠隔制御法の性能向上について論じている。第4章で提案した制御則に対して、さらに接地型ダンピング制御の速度入力に高域フィルタを挿入する制御則を提案している。提案する制御則を含んだ制御系をモデル化し、安定条件を求め、性能評価を行った。その結果、提案する制御則により安定性を損なうことなく第4章で提案した手法より制御系の保守性が改善され、さらなる性能の向上が可能であることが示された。また、制御法の有効性について、シミュレーションおよび2自由度のペグインホール実験により検証した。すべてのシミュレーションおよび実験において、作業は安定に行うことができ、また、提案する制御法による性能の改善が認められた。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、時間遅れの存在下でも安定なPD（比例微分）制御バイラテラル制御則を設計し、技術試験衛星7型による地球周回軌道上でのバイラテラル制御実験によりその有効性を示し、また、偏差型ダンパおよび高域フィルタの追加によるPD制御バイラテラル制御則の性能向上を図ったものである。主な内容は以下の通りである。

- (1) 時間遅れのもとでも安定性が保証されるPD制御バイラテラル制御法の設計について述べている。遠隔制御系をモデル化し、2端子対網の安定条件を適用することにより、PD制御バイラテラル制御則の安定条件を求めている。
- (2) 技術試験衛星7型に搭載されたロボットアームを用い、第2章で論じたPD制御バイラテラル制御則を適用して行った地球周回軌道上のバイラテラル遠隔制御実験について述べている。地上からの遠隔操作により、壁押し作業、壁ならい作業、ペグインホール作業、および、スライドハンドル作業が行われた。すべての作業が安定に操作可能であり、また、すべての作業はオペレータがカメラ映像を見ずに操作可能であった。このことから、地球周回軌道上ロボットの地上からの遠隔操作において、PD制御バイラテラル遠隔制御が有効であることが実証された。
- (3) PD制御バイラテラル遠隔制御法の性能向上について論じている。接地型のダンピングゲインに加え、マスタアームとスレーブアームの速度偏差に比例した力を出す偏差型ダンピングゲインを加えることで、安定性を損なうことなく制御系の保守性が改善され、性能が向上することが示された。バイラテラル制御性能の評価においては、時間遅れのもとでの性能を正しく評価するため、インピーダンス比較による単純な機構透明性解析ではなく、ハイブリッド行列による評価方法が用いられた。制御法の有効性について、シミュレーションおよび2自由度のペグインホール実験により実証された。
- (4) 高域フィルタを付加することによる、PD制御バイラテラル遠隔制御法の性能向上について論じている。接地型ダンピング制御の速度入力に高域フィルタを挿入することにより、安定性を損なうことなく制御系の保守性が改善され、性能が向上することが示された。また、制御法の有効性について、シミュレーションおよび2自由度のペグインホール実験により実証された。

以上のように本論文は、時間遅れが存在しても安定なバイラテラル制御則を提案し、動力学シミュレーションとハードウェア実験を行うことにより、その有用性を示したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年6月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。